

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГИЛЬБЕРТА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЛЬСОГРАММ

В.В. Бороноев, В.Д. Омпоков

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физического материаловедения Сибирского отделения РАН

Россия, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, e-mail: vboronojev2001@mail.ru

В статье представлен новый метод обработки и анализа пульсовых сигналов, позволяющий более детально изучить ее структуру. Преобразование Гильберта-Хуанга представляет собой частотно-временной анализ данных и не требует априорного функционального базиса преобразования.

Ключевые слова: пульсовой сигнал, преобразование Гильберта-Хуанга, спектр Гильберта.

THE HILBERT SPECTRAL ANALYSIS IN THE STUDY OF FREQUENCY AND TIME CHARACTERISTICS OF PULSUGRAMS

V. V. Boronoyev, V. D. Ompokov

Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
6, Sakhyanovoy st., Ulan-Ude, Russia, e-mail: vboronojev2001@mail.ru

The article reports of a new method of processing pulse signals that makes it possible to analyze their structure in more detail. The Hilbert-Huang transform is a method of time-frequency analysis, which does not require an a priori functional basis for transformation.

Keywords: pulse signal, Hilbert-Huang transform, Hilbert spectrum.

Введение

Проведенный анализ методов исследования пульсовых сигналов, в частности методов фильтрации сигналов от различных видов помех, методов определения характерных особенностей сигналов, в том числе и скрытых, показал необходимость более углубленного анализа структуры сигнала, как во временной оси, так и в отношении компонент, формирующих сигнал. Для решения задач был выбран метод частотно-временного анализа сигналов на основе преобразования Гильберта. Достоинством преобразования Гильберта-Хуанга [1] является высокая адаптивность, связанная с тем, что базисные функции для разложения сигнала конструируются непосредственно из самого исследуемого сигнала. Это позволяет исследовать сигнал более “индивидуально”, учесть локальные особенности, внутреннюю структуру и присутствие различных видов помех.

Под преобразованием Гильберта-Хуанга (Hilbert-Huang transform – ННТ) понимается эмпирическая модовая декомпозиция (EMD) нелинейных и нестационарных сигналов (процессов) и Гильбертов спектральный анализ (HSA). Функции базиса получаются адаптивно непосредственно из исходных данных процедурами отсеивания EMD. Метод был предложен Норденом Хуангом в 1995 с обобщением на анализ произвольных временных рядов коллективом соавторов в 1998 г. [1,2,3].

Методика. Результаты и обсуждения

Преобразование Гильберта-Хуанга состоит из двух этапов. На первом этапе эмпирическим методом разложения находятся эмпирические моды (intrinsic mode function -

IMF). На втором этапе при помощи преобразования Гильберта на их основе определяется мгновенный спектр исходной последовательности. В представленной статье более подробно рассмотрено преобразование Гильберта.

В основе предложенного Хуангом алгоритма декомпозиции сигналов лежит построение гладких огибающих по максимумам и минимумам исходного сигнала и дальнейшее вычитание среднего этих огибающих из исходной последовательности. В результате декомпозиции получается набор функций, называемых эмпирическими модами, которые и подвергаются дальнейшему анализу с помощью преобразования Гильберта.

Преобразование Гильберта действительной функции $x(t)$ есть действительная функция, определенная как

$$\tilde{x}(t) = H[x(t)] = x(t) * \frac{1}{\pi} = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\tau)}{t - \tau} d\tau$$

Преобразование Гильберта позволяет разложить исходный процесс на две составляющие - амплитудную и фазовую. Мгновенные амплитуда $a(t)$, фаза $\varphi(t)$ и частота $\omega(t)$ определяются выражениями:

$$a(t) = \sqrt{x^2 + \bar{x}^2(t)}$$

$$\varphi(t) = \arctg \frac{\bar{x}(t)}{x(t)}$$

$$\omega(t) = \frac{\bar{x}'(t)x(t) - x'(t)\bar{x}(t)}{\bar{x}^2(t) + x^2(t)}$$

На рисунке 1 представлены пульсовый сигнал и соответствующее ей частотно-временное распределение для каждого из компонент, полученное с помощью преобразования Гильберта.

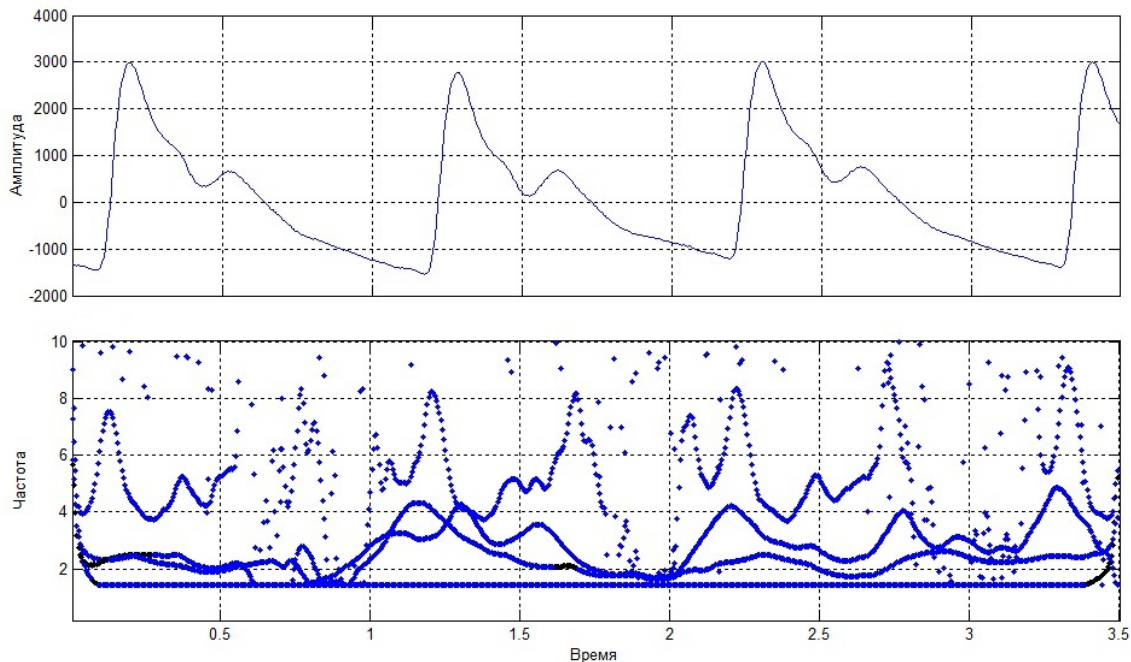


Рис.1. Пульсовый сигнал и соответствующее ей частотно-временное распределение для каждого из модовых функций.

Из рисунка видно, что преобразование Гильберта пульсового сигнала дает набор кривых, соответствующих модовым функциям и упорядоченных по частоте. На графике отчетливо видны кривые, соответствующие основной частоте пульса и кратным ей частотам. Кривые

имеют некий разброс по частоте, что также и наблюдается на Фурье-спектре пульсовой волны в виде уширения спектральных составляющих:

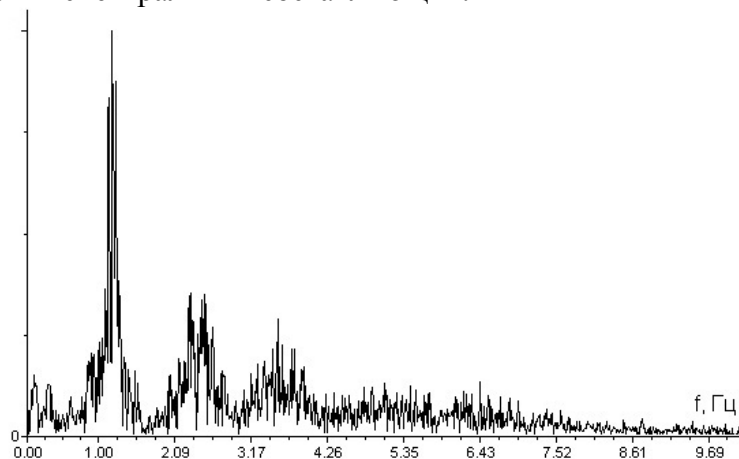


Рис.2. Фурье спектр 20-секундной реализации пульсовой волны

Выводы

Таким образом, применив преобразование Гильберта к модовым функциям, полученным в результате декомпозиции сигнала, получили частотный спектр Гильберта, зависящую от частоты и времени. Интеграл этой величины по времени дает интегральный спектр Гильберта – аналог спектра Фурье. Использование преобразования Гильберта-Хуанга для анализа пульсовых волн открывает новые возможности в детальном анализе частотной и временной структуры пульсовых волн.

Библиографические ссылки

1. Norden E. Huang, Samuel S.P. Shen. The Hilbert-Huang transform and its applications // World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 2005. 311 p.
2. Norden Huang et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. Proceedings of the Royal Society of London. A 454, 903–995 (1998).
3. An Introduction to Hilbert-Huang Transform: A Plea for Adaptive Data Analysis. Norden E. Huang. Research Center for Adaptive Data Analysis. National Central University.
4. Знакомство с методом эмпирической модовой декомпозиции // MetaQuotes Software Corp. URL: <http://www.mql5.com/ru/articles/439> (дата обращения 03.03.2013).
5. Давыдов А.В. Преобразование Гильберта-Хуанга // URL: <http://prodav.narod.ru/hht/index.html> (дата обращения 03.03.2013).

References

1. Norden E. Huang, Samuel S.P. Shen. The Hilbert-Huang transform and its applications. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 2005. 311 p.
2. Norden Huang et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. Proceedings of the Royal Society of London. A 454, 903–995 (1998).
3. An Introduction to Hilbert-Huang Transform: A Plea for Adaptive Data Analysis. Norden E. Huang. Research Center for Adaptive Data Analysis. National Central University.
4. Znakomstvo s metodom empiricheskoj modovoi dekompozitsii. MetaQuotes Software Corp. URL: <http://www.mql5.com/ru/articles/439>.
5. Davidov A.V. Preobrazovanie Gilberta-Huanga. URL: <http://prodav.narod.ru/hht/index.html>.

Боронев Виталий Васильевич – д.т.н., профессор, зав.лаб., Лаборатория волновой диагностики живых систем, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физического материаловедения Сибирского отделения РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, р.т. (3012) 434694, факс (3012) 433238, e-mail: vboronoev2001@mail.ru.

Оппоков Вячеслав Дамдинович, н.с., Лаборатория волновой диагностики живых систем, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физического материаловедения Сибирского отделения РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, р.т. (3012) 434694, факс (3012) 433238, e-mail: slvd@mail.ru.

Boronoyev Vitaliy Vasilievich, doctor of engineering, professor, Laboratory of Wave Diagnostics of Living Systems, Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

Ompokov Vyacheslav Damdinovich, researcher, Laboratory of Wave Diagnostics of Living Systems, Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.